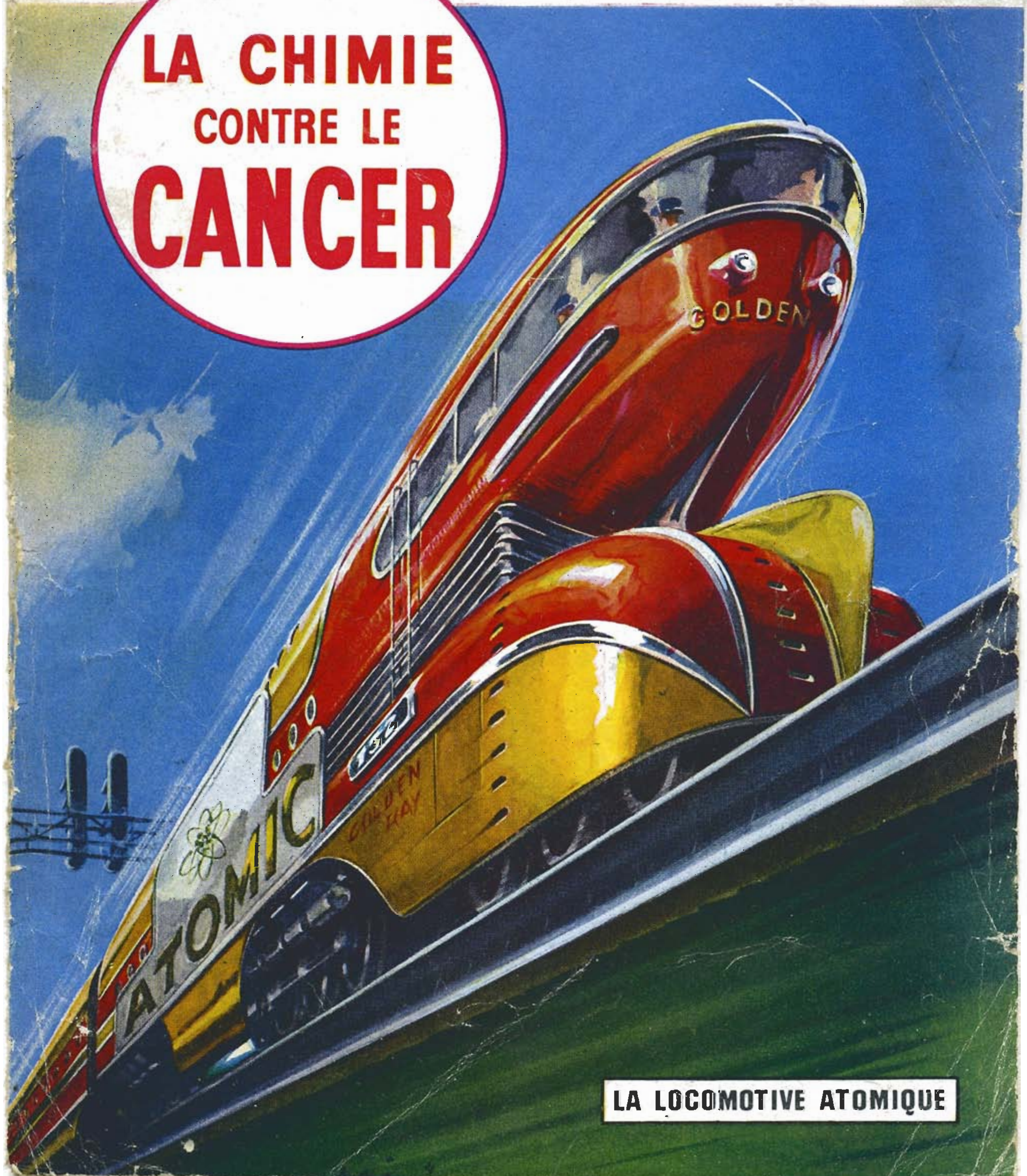
SCIENCE ET VIE

OCTOBRE 1954 N° 445 100 FRANCS

LA CHIMIE CONTRE LE CANCER



LA LOCOMOTIVE ATOMIQUE

LA LOCOMOTIVE ATO

pourra rivaliser avec les machines diesel

POURQUOI pas une locomotive atomique? L'énergie nucléaire, dans le domaine ferroviaire, peut concurrencer la vapeur et l'électricité. C'est du moins l'avis du professeur Boist, de l'Université de Salt Lake City, qui propose aux compagnies de chemin de fer des Etats-Unis un projet qu'il a mis au point avec ses élèves du cours de technologie nucléaire.

L'uranium à 7 000 fr le gramme apporte une économie

Il s'appuie sur des chiffres. Pour construire une locomotive atomique de 7 000 ch, il en coûterait 1 200 000 dollars, alors qu'une locomotive diesel de même puissance ne revient qu'à 500 000 dollars. Mais dans une année, pour 2 400 heures de service, la « diesel » absorbe pour 120 000 dollars de fuel et coûte 150 000 dollars à entretenir.

Pour le même service, la locomotive atomique consommerait 5 kg d'uranium 235 et entraînerait des dépenses de révision et de recharge du bouilleur atomique de près de 100 000 dollars. Ajoutons à ce chiffre celui du revenu à 10 % du supplément de capital investi, soit 70 000 dollars, et nous constatons que la concurrence sera possible si le prix du gramme d'U 235 est inférieur à 100 000 divisé par 5 000, c'est-à-dire 20 dollars, soit 7 000 F.

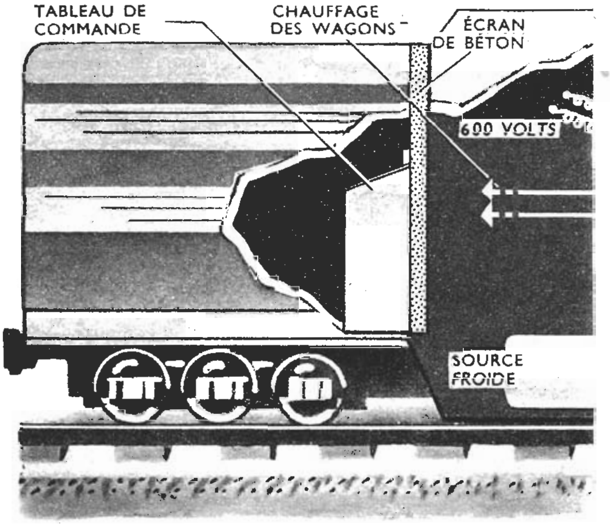
Ce chiffre est très vraisemblable. Il est voisin de celui que l'on peut évaluer par recoupements d'informations fragmentaires sur les expériences atomiques. Une bombe atomique, contenant près de 20 kg de U 235 ou de Pu 239, reviendrait ainsi à 400 000 dollars, prix qui est comparable à celui de 100 000 livres sterling dont il a été question lors des explosions atomiques effectuées par les Britanniques à Montebello.

On peut, d'ailleurs, sans excès d'optimisme, espérer une importante baisse du prix du combustible nucléaire. Trois facteurs au moins doivent y contribuer : l'avènement des « breeders » ou réacteurs régénérateurs ; le perfectionnement des méthodes d'extraction et de purification des minerais d'uranium, ainsi que des procédés qui permettent de séparer entre eux d'une part les isotopes de l'hydrogène — dont l'un d'eux, le deutérium, est l'élément de base de l'eau lourde des piles atomiques — et d'autre part ceux de l'uranium ; enfin une détente internationale et un accord sur l'énergie atomique qui libèrerait les stocks de matières fissibles actuellement prêtes à constituer des bombes atomiques.

L'emploi du thorium fera baisser le prix de l'U 235

Dans une pile atomique à uranium naturel, ce sont les noyaux d'uranium 235 qui entretiennent les réactions de fission en chaîne provoquées par les neutrons émis par ces fissions. Ce phénomène ne peut se produire qu'avec des neutrons lents, d'où nécessité de ralentir les neutrons rapides des fissions par des substances comme l'eau lourde ou le graphite. Or une partie des neutrons de fission peut, en cours de ralentissement, atteindre une énergie de quelques électronvolts propice à la forma-

SCHÉMA DU PROJET AMÉRICAIN



MIQUE

et électriques

L'emploi du bouilleur atomique, moins encombrant que la pile, permet cette réalisation technique. Reste à trouver du combustible nucléaire bon marché : les "breeders", ou réacteurs régénérateurs, semblent devoir le produire.

tion du plutonium 239, par l'intermédiaire de l'uranium 239 et du neptunium 239.

On voit ainsi qu'il se produit une certaine régénération de matière fissible au sein de la pile atomique, puisque les noyaux de Pu 239 sont aussi fissibles que ceux de U 235 par les neutrons lents. Cette régénération n'est cependant pas excédentaire. En effet, non seulement le nombre de noyaux de Pu 239 ainsi formés est inférieur à celui des noyaux de U 235 qui se sont fissionnés, mais encore certains de ces noyaux peuvent (tout comme une bonne fraction de ceux de U 235 — environ 20 %) — absorber un neutron pour donner l'isotope supérieur non fissible. Le bilan est finalement déficitaire et le nombre total de noyaux fissibles de U 235 et de Pu 239 décroît constamment au cours du fonctionnement de la pile.

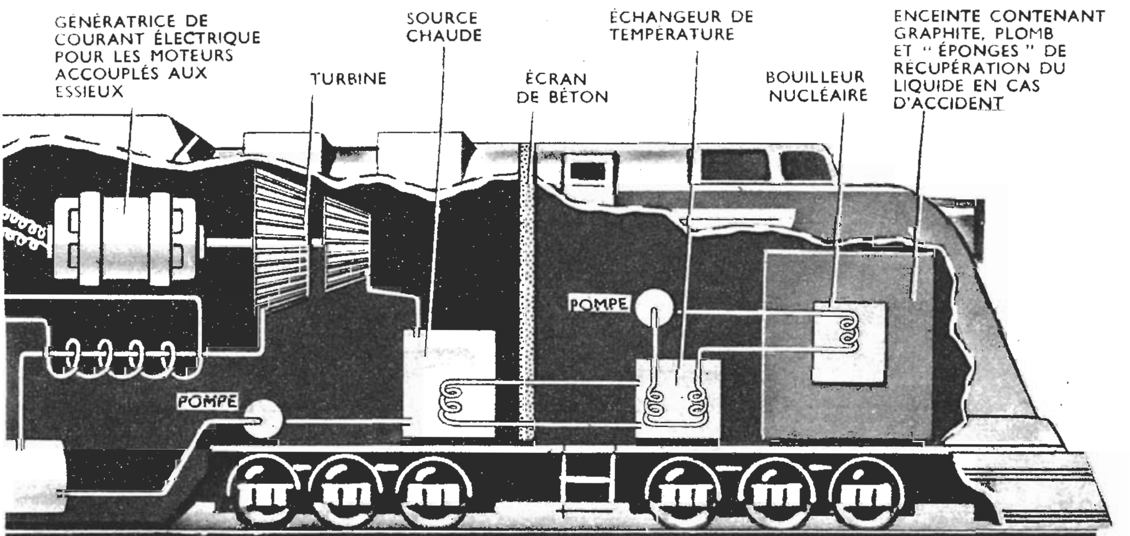
Dans les « breeders » on arrive pourtant à rendre ce bilan excédentaire. Le procédé consiste à remplacer une bonne partie des écrans de protection autour des piles atomiques par des sables riches en thorium. Les noyaux de Th 232 absorbent ainsi les neutrons qui s'échappent de la pile, ce qui donne successivement du thorium 233, du protoactinium 233 et enfin de l'uranium 233.

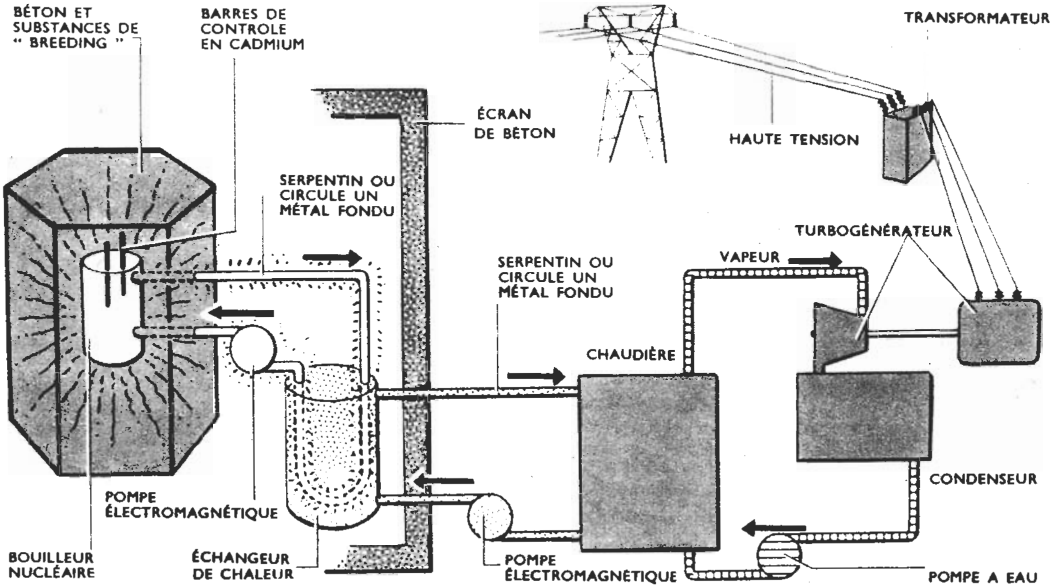
Il se trouve que l'U 233 est aussi bon combustible nucléaire que son isotope U 235 et qu'il est plus facile de l'extraire du sable des écrans que d'extraire le Pu 239 des barres d'uranium des piles. Les minerais de thorium étant plus abondants que ceux d'uranium, on voit que l'opération est doublement avantageuse et que l'U 233 fera baisser le prix de U 235 ou de Pu 239.

Ces trois combustibles obtenus, comment les utilisera-t-on pour propulser les engins? C'est le rôle des bouilleurs atomiques.

Le bouilleur atomique remplace la chaudière

Un bouilleur atomique — ou nucléaire — consomme du combustible atomique très enrichi en U 235, U 233 ou Pu 239. Sa deuxième caractéristique réside dans le manque de ralentisseur. Les neutrons de fission qui sont mis en œuvre





● Schéma de l'E.B.R. d'Idaho Falls édifié par Phillips Petroleum. Pour un régime déterminé des barres de contrôle, le turbogénérateur entraîné par la vapeur du réacteur atteint 170 kilowatts.

ne sont plus uniquement des neutrons lents : ils peuvent avoir des énergies de quelques eV aussi bien que de plusieurs millions d'eV. Certains vont jusqu'à 12 MeV, la plus grande partie se place vers 1 MeV. Les fissions qu'ils peuvent provoquer sont moins nombreuses que celles dues aux neutrons lents dans une pile, mais ce défaut est largement compensé par le plus grand nombre de noyaux fissibles et par la vitesse des réactions nucléaires. En somme, un bouilleur enrichi à presque 100 % en matières fissibles constituerait une bombe atomique.

On peut donc, sous un faible volume, pourvu que l'on puisse se procurer quelques centaines de grammes de matière fissible pure, constituer un réacteur nucléaire capable de fournir une quantité considérable de chaleur. Le poids du réacteur proprement dit sera infiniment plus faible que celui d'une pile atomique qui utilise des tonnes d'uranium non enrichi et un ralentisseur. De plus, son volume très réduit permettra de l'entourer d'écrans de protection — comme ceux des régénérateurs — de dimensions et de poids acceptables.

L'université de la Caroline du Nord préfère le bouilleur cylindrique

En dehors des bouilleurs expérimentaux de Los Alamos déjà connus (1), celui de l'Université de la Caroline du Nord va nous servir à illustrer ces nouvelles sources de calories.

Bien que le rapport de la surface au volume soit moins favorable pour le cylindre que pour la sphère, et que l'on s'attende ainsi à une plus grande perte de neutrons par la surface du cylindre, l'Université de la Caroline du Nord a choisi le bouilleur cylindrique. En acier inoxydable, ce récipient de 16 litres a 27 cm de diamètre et autant de hauteur. Son encombrement est, comme on le voit, minime. Mais il exige 1,14 fois plus de matière fissible pour compenser son excès de surface.

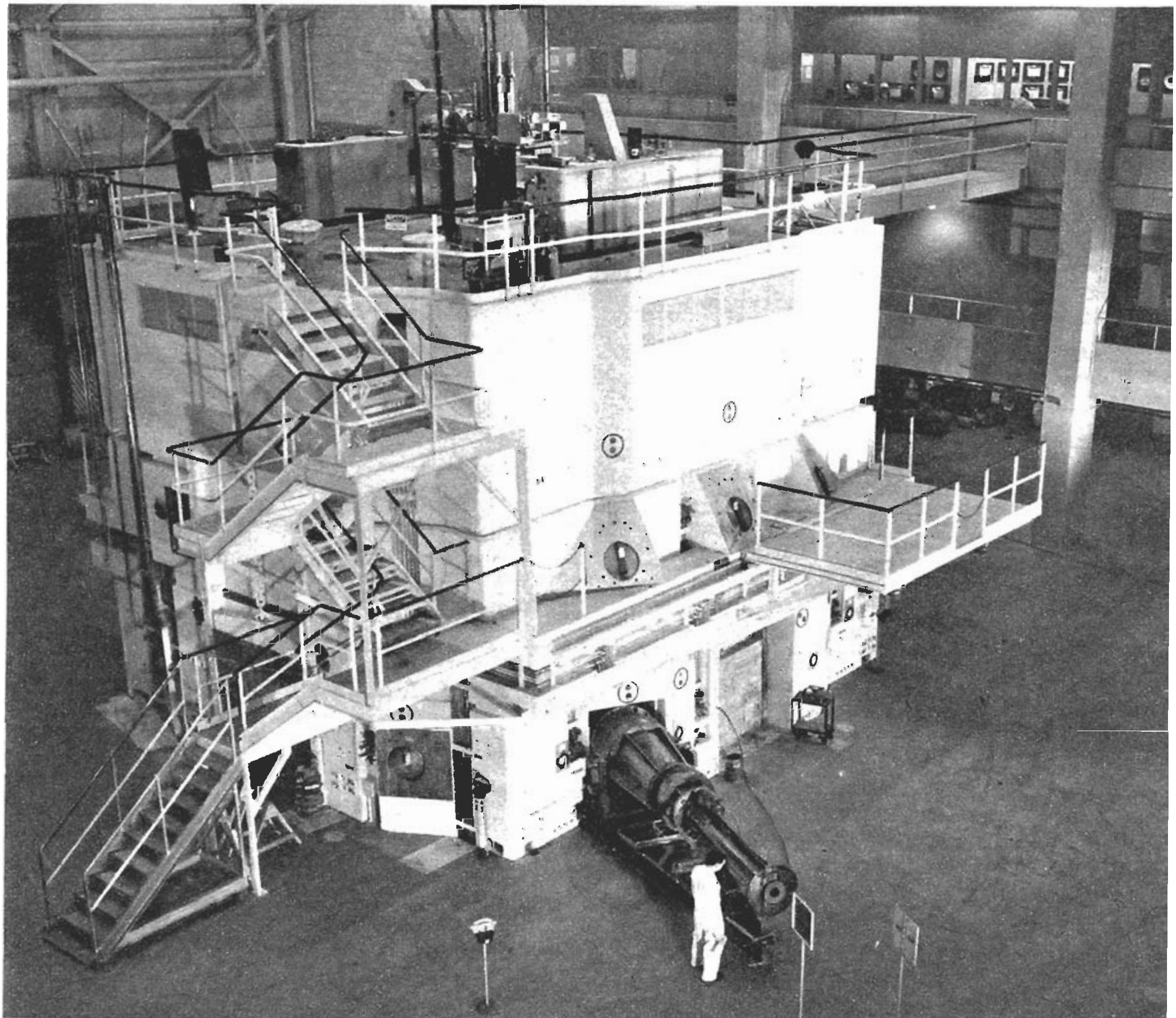
Le combustible nucléaire prêté par l'usine de Oak Ridge fut livré dans des récipients ne contenant pas plus de 350 g d'U 235 et en les maintenant à plus de 60 cm les uns des autres. Cet uranium est sous forme de sulfate d'uranyle. Il n'est pas précisé si cet isotope est enrichi à 100 % ou si la solution contient une certaine fraction d'U 238, comme c'est le cas avec les bouilleurs de Los Alamos. Le bouilleur de la Caroline est entouré de 40 cm de graphite, ce qui a pour effet de réfléchir vers le réacteur les neutrons qui s'échappent par la surface et de diminuer ainsi la masse « critique » capable de maintenir la réaction en chaîne. Cette masse est ainsi réduite à 915 g. d'U 235.

A l'intérieur de ce bouilleur on observe un flux de 5.10^{11} neutrons rapides, par cm² et par seconde, et trois fois moins de neutrons lents. A l'extrémité d'une colonne de graphite, ce rapport est plus favorable aux neutrons,

(1) Voir Science et Vie nᵉ 437 de Février 1954.

Vue d'ensemble du réacteur expérimental d'Idahc ➡ actuellement utilisé pour l'étude systématique de l'action des neutrons rapides sur les matériaux destinés à la construction des futurs réacteurs. D'où son nom : Material Testing Reactor ou plus couramment M.T.R.

● Le « breeder » E.B.R. éclairé par son propre courant. C'est le premier réacteur ayant fourni de l'électricité en utilisant du thorium dans sa carapace de protection pour prouver le « breeding ».



lents : 3.10⁷ et rien que 500 neutrons rapides. Ces chiffres sont relatifs à un fonctionnement pour une production de 10 kilowatts.

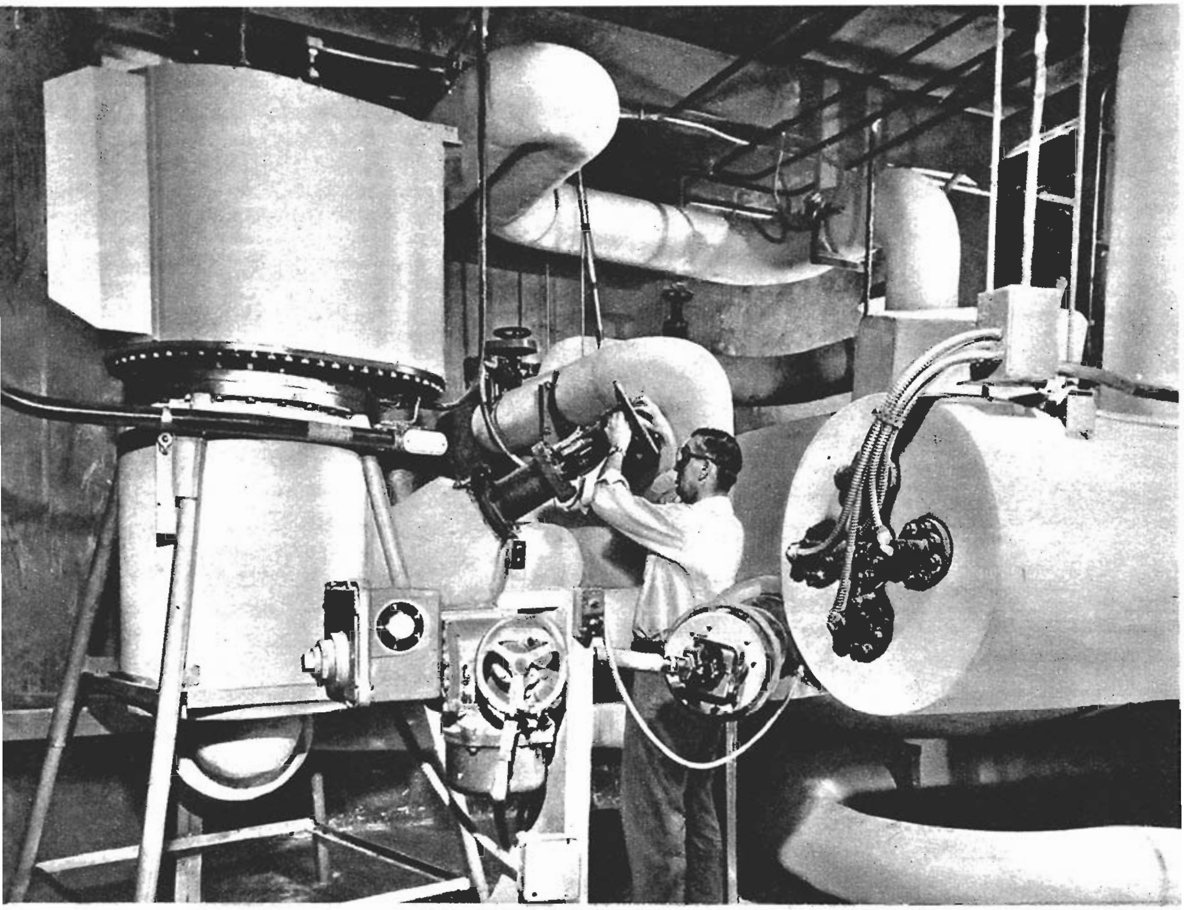
Suivant la position des barres de contrôle, qui absorbent plus ou moins de neutrons, ce même bouilleur peut atteindre plusieurs centaines de kW, à condition de prévoir une circulation d'eau ordinaire, d'eau lourde ou de métal fondu (sodium, bismuth, etc.), pour évacuer les calories vers un échangeur de chaleur. On agit également sur le régime du bouilleur en faisant monter ou baisser le niveau de la solution de sulfate d'uranyle dans le cylindre.

Le bouilleur atomique peut se passer de la pile

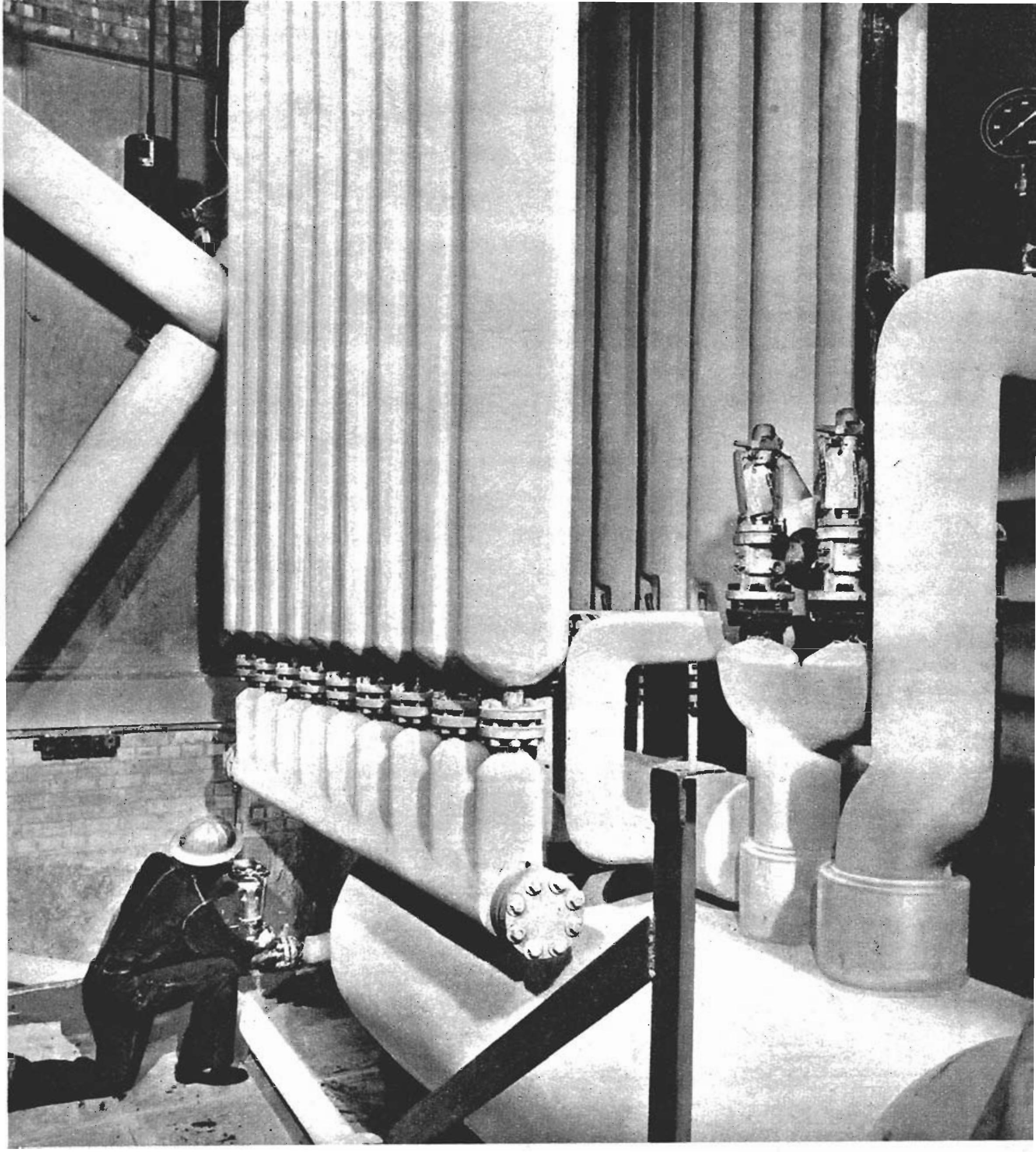
Supposons maintenant que nous ne disposions ni d'assez d'uranium naturel ni d'assez d'eau lourde ou de graphite pour constituer une pile. Serons-nous condamnés de ce fait à ne pas pouvoir fabriquer bombes et bouilleurs atomiques? Non, car s'il faut plusieurs dizaines de tonnes d'uranium pour édifier une pile atomique, il suffit d'extraire une vingtaine de kg d'U 235 de près de 500 kg d'Uranium naturel pour fabriquer une bombe atomique, et vingt fois moins pour faire un bouilleur. D'autre part, il est possible de séparer l'isotope U 235 de son congénère de masse 238.

L'opération peut s'effectuer de diverses façons, d'ailleurs toutes aussi coûteuses. Elles peuvent être entreprises par petites fractions, au stade artisanal, en enrichissant graduellement l'uranium en U 235, ou conduites en grande série dans des usines monstres. Elles offrent l'avantage de ne pas traiter des masses importantes de produits radioactifs dangereux, comme c'est le cas lors de l'extraction du plutonium 239. En temps de guerre, le camouflage et la dispersion de petites usines de U 235 est un facteur appréciable.

En fait, qu'il s'agisse d'équiper des bouilleurs atomiques des transatlantiques, des sous-marins, des locomotives ou des centrales électriques, le problème reste le même : produire des quantités importantes de U 233, U 235 et Pu 239 et les produire à un prix inférieur à 7 000 francs le gramme. La fission d'un gramme d'U 235 dégageant une énergie de près de 2 000 kWh, le kWh « atomique » reviendrait à 3,50 fr, soit



A DROITE, LA CHAUDIÈRE DE L'E.B.R. OU FOND LE MÉTAL QUI VÉHICULE LES CALORIES



SOURCE CHAUDE DE L'E B.R. ; LA VAPEUR FOURNIE ATTEINT 290° SOUS 28 kg PAR CM².

à un prix tout à fait comparable à celui du kWh hydraulique ou thermique.

Pour atteindre ce but, les pouvoirs publics devront favoriser la prospection des minerais d'uranium et de thorium ; ce qui implique une modification de notre législation minière trop tracassière. En outre, ils devront développer l'édification de piles atomiques, de centres de séparation d'isotopes U 235-238 et de centres d'extraction de plutonium. Enfin, il faudra faciliter les études pratiques et théoriques sur toutes les questions relatives aux fissions et fusions nucléaires.

L'exemple de la pénicilline, dont le prix des 100 000 unités est descendu de 20 dollars en 1943 à 0,05 dollar en 1950. autorise tous les espoirs. Il montre à quel point la concurrence industrielle et la libre compétition des inventeurs sont parfois bénéfiques.

M. E. Nahmias